



ISSN 1607–2855

Том 5 · № 1–2 · 2004 С. 126–134

УДК 523.59

## Смещение фотометрического центра противосияния

Ю.М. Горбанев, А.В. Голубаев

Одесская астрономическая обсерватория

*Исследуется широтная компонента отклонения фотометрического центра противосияния от антисолнечной точки. Подтверждаются выводы ряда исследователей о том, что центр противосияния смещен главным образом к северу от эклиптики. На базе каталогов индивидуальных метеорных орбит (материалы Мирового Метеорного Центра Данных в Лунде), составленных по фотографическим, телевизионным и радиолокационным наблюдениям, была проверена оптическая теория противосияния. Выдвигается предположение о возможном влиянии пространственного распределения межпланетной пыли на смещение фотометрического центра противосияния с учетом пятимерного распределения элементов метеорных орбит  $f(i, a, e, \Omega, \omega)$ . В результате расчетов обнаружено смещение к северу от эклиптики в распределении плотности межпланетной пыли.*

*ЗМІЩЕННЯ ФОТОМЕТРИЧНОГО ЦЕНТРА ПРОТИСЯЙВА, Горбанев Ю.М., Голубаєв О.В. — Досліджується широтний компонент відхилення фотометричного центра протисяйва від антисонячної точки. Підтверджуються висновки ряду дослідників про те, що центр протисяйва зміщено головним чином на північ від екліптики. На базі каталогів індивідуальних метеорних орбіт (матеріали Світового Метеорного Центра Даних у Лунді), які складено за фотографічними, телевізійними і радіолокаційними спостереженнями, було перевірено оптичну теорію протисяйва. Висунуто припущення про можливий вплив просторового розподілу міжпланетного пилу на зміщення фотометричного центра протисяйва з врахуванням п'ятивимірного розподілу елементів метеорних орбіт  $f(i, a, e, \Omega, \omega)$ . У результаті розрахунків виявлено зміщення на північ від екліптики у розподілі густини міжпланетного пилу.*

*SHIFT THE PHOTOMETRIC CENTER OF THE GEGENSCHIEIN, by Gorbanev Yu.M., Golubayev A.V. — The latitude component of the deviation of the photometric centre of the gegenschein from the antisolar point was considered. It was concluded that the centre of the gegenschein is shifted towards the northern hemisphere the respect to ecliptic. Using the catalogues of individual meteor orbits based on photographic, television and radar observations (the materials of the Meteor Data Centre in Lund), the optical theory of the gegenschein was tested. Using the distribution of meteor orbits as a function of the five elements  $f(i, a, e, \Omega, \omega)$ , the spatial distribution of the meteor matter is determined. The shift of the maximum density in distribution of the interplanetary dust towards to north from ecliptic is obtained. The deviation of the centre of the gegenschein north of the ecliptic is explained by this result.*

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа посвящена изучению редкого астрономического явления — противосияния. В международной научной литературе для обозначения этого явления принят термин немецкого происхождения *Gegenschein* (*gegen* — против, *schein* — свечение).

Противосияние всегда наблюдается на ночном небе в области противоположной Солнцу. Визуально явление представляет собой слабое туманное пятно овальной формы, большая ось которого простирается примерно вдоль эклиптики. Размеры пятна в среднем составляют  $10^\circ - 15^\circ$ . Поверхностная яркость противосияния всего на 15% выше яркости ночного неба, поэтому относится к классу объектов, наиболее сложных для наблюдений.

## 2. СМЕЩЕНИЕ ФОТОМЕТРИЧЕСКОГО ЦЕНТРА ПРОТИВОСИЯНИЯ КАК ОДНА ИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ЯВЛЕНИЯ

Из обзора научной литературы можно сделать вывод о разнообразии наблюдательных особенностей противосияния, к числу которых относится смещение его фотометрического центра относительно антисолнечной точки. Данное отклонение можно разложить на две компоненты — широтную (к северу или югу относительно эклиптики) и долготную (к западу или востоку вдоль эклиптики относительно антисолнечной точки). В настоящей работе рассмотрена только широтная составляющая указанного отклонения.

Таблицы наблюдений положений центра противосияния публиковались уже с конца XIX ст. Большой ряд наблюдений опубликовал Барнард (68 точек за период с 1883 г. по 1896 г.) [1–4]. Фиксируя положение противосияния среди звезд в течение четырех лет, наблюдатель уже тогда отметил несовпадение центральной, самой яркой, части данного объекта с антисолнечной точкой, а также его непостоянство формы и яркости [1].

Применяя электрофотометр для составления карт изофот ночного неба, Элви [5] обнаружил противосияние фотоэлектрическим методом. Например, по наблюдениям, проведенным в сентябре–октябре 1932 г. с помощью фотоэлектрического фотометра, установленного на 40-дюймовом телескопе Йоркской обсерватории, отмечаются очевидные изменения формы и положения фотометрического центра противосияния.

В работе Танабе [6] содержится больше полусотни (собственных и Гиндилиса) наблюдений проведенных в середине 1950–1960 гг.

К сожалению, наблюдения противосияния проводятся крайне не систематически, что связано со сложностью наблюдения данного астрономического явления.

Нами были собраны опубликованные данные по положению центра противосияния, начиная с 1883 г. (рис. 1).

Сравнивая положения центра противосияния по наблюдениям Барнарда и Танабе можно заметить некоторое разногласие. Танабе указывал, что широтное смещение центра противосияния носит периодический характер (осенью смещение происходит в основном к югу, а весной — к северу от эклиптики), и нашел корреляцию в положении фотометрического центра противосияния с неизменной плоскостью Лапласа. По Барнард, напротив, смещение происходит в основном к северу от эклиптики.

Кроме того, нами были собраны промежуточные наблюдения с 1883 г. по 1960 г. и до настоящего времени. Результаты систематических наблюдений (1942–1945 гг.) были приведены в статье

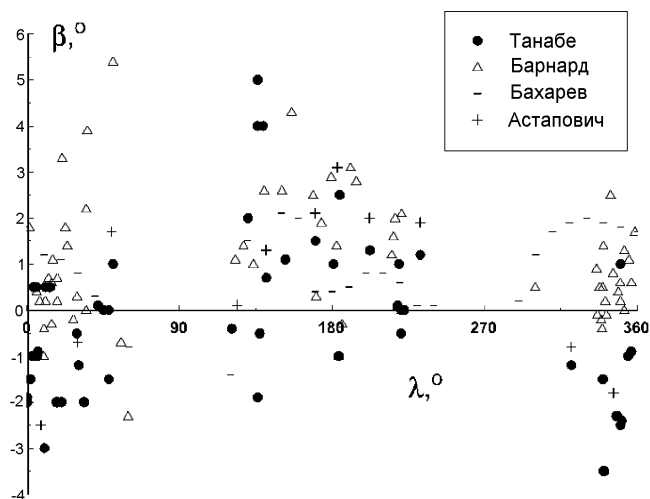


Рис. 1. Отклонение центра противосияния от эклиптики

Астаповича [7], а также немного позже в своих исследованиях Бахарев [8] применил наблюдения Захарова (1913–1929 гг.). Бахарев сделал вывод, что широта противосияния по Захарову и Астаповичу в зависимости от времени имеет разный характер.

Если проанализировать графики положения центра противосияния по наблюдениям Астаповича и Захарова, то можно заметить, что положение центра противосияния по данным первого автора имеет сезонный характер: весной смещение происходит к северу, а осенью — к югу.

По данным второго наблюдателя в основном смещение происходит к северу, т.е. наблюдается такая же тенденция, как у Танабе и Барнарда.

В настоящее время общепринятым считается, что явление противосияния и зодиакального света имеют одну природу — рассеяние солнечного света на пылевых частицах, сконцентрированных в основном в плоскости эклиптики. Для понимания природы противосияния необходимо обратить внимание на то, что распределение яркости зодиакального света в северном и южном полушариях неодинаково. Проведенное сравнение яркости и поляризации зодиакального света вблизи южного и северного полюсов эклиптики показало заметную асимметрию изофот зодиакального света относительно эклиптики [9].

Аналогичное явление происходит и с противосиянием. Так, в статье [10] приведены результаты исследования тонкой структуры зодиакального света и противосияния. Плоскость симметрии, структура и фотометрические особенности противосияния и зодиакального света изучались по фотоснимкам, полученных на базе четырех широкоформатных камер. Все снимки показали четко выраженную асимметричную и клочковатую структуру противосияния. Максимум распределения интенсивности находится не точно в антисолнечной точке, а южнее от нее на  $0.7^\circ$ . Приведенные в статье изофоты противосияния указывают на увеличение освещенности к северу более сильно, чем к югу.

Таким образом, отметим следующие закономерности в положении фотометрического центра противосияния:

1. Отмечается несовпадение фотометрического центра противосияния с антисолнечной точкой;
2. Результаты наблюдений указывают на существование отклонения центра противосияния в основном к северу от эклиптики в среднем на  $2^\circ - 3^\circ$ ;
3. Наблюдается сезонный характер в положении центра противосияния относительно эклиптики: весной центр смещается в основном к северу, а осенью — к югу;
4. Согласно рис. 1, для определенных значений эклиптических долгот наблюдается значительный разброс смещений фотометрического центра противосияния относительно эклиптики.

### 3. ОПТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ПРИРОДЫ ПРОТИВОСИЯНИЯ

На протяжении последних двух столетий существовало множество гипотез и их модификаций для объяснения природы противосияния, например: противосияние — как эффект рассеяния солнечного излучения на облаке пыли находящемся в одной из либрационных точек Лагранжа; теория газового или пылевого хвоста Земли; атмосферная теория и т.д. Но в настоящее время теоретическими и наблюдательными методами доказана их несостоятельность.

На возможность объяснения противосияния как чисто оптического эффекта, возникающего при рассеянии солнечного света на частицах межпланетной пыли и обусловленного определенным характером индикатрисы рассеяния, указывали еще Зеелигер [11] и Швенд [12] в начале двадцатого столетия, а позже соответствующая теория развивалась в работах Зидентофа [13] и Вальтера [14].

Такие предположения возникали у разных авторов для объяснения яркости и поляризации зодиакального света. В настоящее время общепринятой является гипотеза о том, что он обусловлен рассеянием солнечного излучения на пыли, сконцентрированной вокруг Солнца в виде линзообразного облака, вытянутого вдоль эклиптики. Такая точка зрения стала основной после работ акад. В.Г.Фесенкова. Согласно этой теории, фраунгоферова корона (F-корона) и внутренний зодиакальный свет образуется в результате рассеяния солнечного света на пылинках, расположенных между

Землей и Солнцем. При наблюдениях на больших угловых расстояниях от Солнца увеличение количества пыли в астероидной зоне должно сказаться в виде зодиакальной полосы — слабого свечения, проходящего по эклиптике узкой полосой шириной порядка  $10^\circ$ , которая соединяет на ночном небе вершины восточной и западной пирамид зодиакального света.

Противосияние, наблюдаемое на фоне зодиакальной полосы, можно объяснить особенностями рассеяния на тех же частицах при углах рассеяния близких к  $180^\circ$ .

Оптическая теория противосияния рассматривалась Гиндилисом [15], где было показано, что рассеяние света на частицах межпланетной пыли позволяет объяснить основные черты противосияния: наблюдаемый фотометрический профиль и распределение энергии в спектре противосияния.

Таким образом, из известных наблюдательных фактов можно сделать вывод, что за явления зодиакального света, противосияния и зодиакальной полосы ответственна метеороидная составляющая, находящаяся во внутренней части Солнечной системы.

#### 4. СВЯЗЬ МЕЖПЛАНЕТНОГО ПЫЛЕВОГО ОБЛАКА СО СМЕЩЕНИЕМ ФОТОМЕТРИЧЕСКОГО ЦЕНТРА ПРОТИВОСИЯНИЯ

Выше мы сделали вывод, что за явления зодиакального света, зодиакальной полосы и противосияния в частности, ответственна метеороидная составляющая, рассеивающая солнечный свет. Необходимо определить, связано ли распределение пылевых частиц в межпланетном пространстве со смещением фотометрического центра противосияния и асимметрией в распределении его поверхности яркости?

Статистическое исследование каталогов орбит метеоров, полученных различными методами (фотографическим, радиолокационным и телевизионным), показывает, что межпланетная пыль в основном сконцентрирована в метеорных роях. Позже под действием различных эффектов пылевые частицы покидают рои и рассеиваются в межпланетном пространстве. По этой причине, очевидно, пространственное распределение мелкой пыли противосияния должно быть ближе к распределению метеорных частиц, чем к распределению комет и астероидов. Эта пыль сосредоточена в виде эллипсоидального облака, в котором концентрация пылевых частиц уменьшается с увеличением расстояния от Солнца и при удалении от плоскости эклиптики. Пылевые частицы этой межпланетной составляющей, попадая в земную атмосферу, создают явление метеора.

По результатам наблюдений метеоров созданы обширные каталоги элементов их орбит. Используя их, можно воссоздать общую картину распределения метеороидной пыли относительно плоскости эклиптики.

Одним из путей решения такой задачи является построение различных теоретических моделей, основанных на наземных наблюдениях метеоров. В частности, из статистического анализа каталогов орбит метеоров некоторые авторы получали зависимость величин пространственной плотности от гелиоцентрического расстояния и эклиптической широты.

Так, например, Заболотников [16] предложил метод, который основывается на таких фундаментальных понятиях статистической физики, как фазовое пространство и функция распределения фазовой плотности. По мнению автора, они могут полностью и однозначно описать структуру системы, состоящей из большого числа частиц. В качестве аргументов фазовой функции были выбраны элементы кеплеровской орбиты.

Для объяснения яркости зодиакального света Дивари в модели межпланетного облака тоже использовал распределения элементов орбит наблюдаемых метеоров [17].

Практически все методы имеют целый ряд недостатков. Например, в выше указанной модели Дивари делал ряд допущений, в частности, использовал двумерное распределение элементов орбит метеоров по их наклонениям  $i$  и большим полуосям  $a$ , т.е. функцией  $f(i, a)$ . Заметим, что было принято допущение о круговых орбитах метеоров. Мы не ограничились двумя элементами орбит, а использовали кроме вышеперечисленных  $a$  и  $i$  следующие элементы орбит: эксцентриситет  $e$ , долготу восходящего узла  $\Omega$ , аргумент перигелия  $\omega$ .

Предположим, что существуют частицы, которые не зарегистрированы с поверхности Земли, но имеют орбиты подобные орбитам наблюдаемых метеоров. Считаем, что для таких орбит поток метеорных тел, проходящих через любую плоскость перпендикулярную орбите, постоянен. Тогда, исходя из закона площадей, пространственная плотность метеорных частиц вдоль орбиты (т.е. число частиц приходящихся на единицу длины) изменится: в перигелийной области пространственная плотность частиц будет меньше, чем в афелийной. При вычислениях для метеорных частиц принимается, что они имеют одинаковые физические и геометрические параметры (альbedo, размер, форму и т.д.). Интенсивность каждой частицы, отражающей солнечный свет, зависит только от гелиоцентрического расстояния  $r$ .

## 5. МЕТОДИКА ВЫЧИСЛЕНИЙ

Пусть известны элементы эллиптической орбиты метеорной частицы из каталогов индивидуальных метеорных орбит.

Прежде всего определяем орбитальный период обращения частицы:  $P = \frac{2\pi}{n}$ , где  $n = a^{-3/2}$  — среднее суточное движение частицы по орбите. С шагом по времени порядка дней, относительно момента прохождения через перигелий  $T$ , находим положение частицы в виде гелиоцентрических прямоугольных координат  $(X_t, Y_t, Z_t)$ , где индекс  $t$  указывает на соответствующий момент времени. Прямоугольная система координат с центром, связанным с Солнцем, выбирается так, чтобы ось  $OX$  была направлена на точку весеннего равноденствия  $\gamma$  и лежала с осью  $OY$  в плоскости эклиптики, а ось  $OZ$  перпендикулярно к плоскости эклиптики. Положительные значения  $Z$  находятся в северной области эклиптики (рис. 2).

При вычислениях прямоугольных гелиоцентрических координат частицы  $(X_t, Y_t, Z_t)$  используются следующие формулы:

$$X_t = P_x X_0 + Q_x Y_0, \quad Y_t = P_y X_0 + Q_y Y_0, \quad Z_t = P_z X_0 + Q_z Y_0$$

где  $P_x, P_y, P_z, Q_x, Q_y, Q_z$  направляющие косинусы орбиты, а  $X_0, Y_0$  — орбитальные координаты частицы:

$$X_0 = a(\cos E - e), \quad Y_0 = a\sqrt{1 - e^2} \sin E.$$

Для представления конечного результата удобно будет перейти от прямоугольных координат  $(X_t, Y_t, Z_t)$  в сферические координаты  $(r_t, \varphi_t, \Theta_t)$  по формулам:

$$r_t = \sqrt{X_t^2 + Y_t^2 + Z_t^2}, \quad \operatorname{tg} \varphi_t = \frac{Y_t}{X_t}$$

где  $(0^\circ \leq \varphi_t < 360^\circ)$ ;

$$\sin \Theta_t = \frac{Z_t}{\sqrt{X_t^2 + Y_t^2}}$$

где  $(-90^\circ \leq \Theta_t \leq +90^\circ)$ .

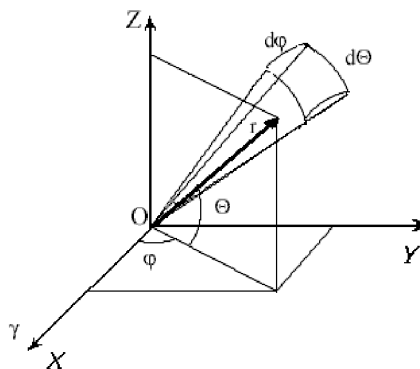


Рис. 2. Схема к выбору системы координат при вычислениях

Легко видеть (рис. 2), что данные сферические координаты соответствуют эклиптическим:

$$\varphi_t \equiv \lambda_t, \quad \Theta_t \equiv \beta_t.$$

Такие вычисления проводятся для всех метеорных орбит, после чего осуществляется поиск распределения частиц в пространстве относительно плоскости эклиптики следующим образом. Выделим некоторый объем пространства (рис. 2), ограниченный телесными углами на гранях  $d\varphi$  и  $d\Theta$  и с вершиной в точке  $O$ . После этого подсчитаем количество частиц, попавших внутрь выделенного объема, при этом каждая частица войдет в сумму со своим весом. Выбор веса определяется из следующих соображений. Конечным результатом является суммарная интенсивность  $I$  солнечного света, отраженного частицами, «попавшими» в элементарную область. В простом случае интенсивность отраженного частицей солнечного света  $I'$  на некотором гелиоцентрическом расстоянии  $r$  можно записать в виде:

$$I' = I_0 r^{-k},$$

где  $r$  — расстояние от Солнца до частицы, выраженное в астрономических единицах,  $I_0$  — интенсивность отраженного пылевой частицей солнечного света на гелиоцентрическом расстоянии  $r = 1$  а.е.,  $I_0$  — безразмерный свободный параметр (различные исследователи принимают, что  $k$  лежит в пределах от 1 до 6, но результаты наблюдений зодиакального облака [18] показывают  $\sim 2.5$ ).

Если считать каждую полученную точку отдельной частицей, отражающей солнечный свет, то в результате мы получим распределение интенсивности в данном направлении как функцию эклиптических координат. В этом случае суммарная интенсивность  $I_{d\lambda, d\beta}$  от всех частиц, попавших в элементарный объем, определяется как:

$$I_{d\lambda, d\beta} = \sum_{p=1}^N I'_p = \sum_{p=1}^N I_0 r_p^{-k},$$

где  $p = 1, 2, \dots, N$  — номер частицы, попавшей в интервал  $(d\lambda, d\beta)$ , а  $N$  — их общее количество.

Для выражения интенсивности в относительных единицах мы принимаем  $I_0 = \text{const}$  для всех частиц.

Необходимо отметить, что те частицы, которые находятся внутри орбиты Земли (т.е. частицы с гелиоцентрическими расстояниями  $r < 1$  а.е.), не участвуют в расчетах, т.к. согласно оптической теории, они ответственны только за явление внутреннего зодиакального света и F-короны, в отличие от частиц с гелиоцентрическими расстояниями  $r > 1$  а.е., ответственных за явление зодиакальной полосы, на фоне которой наблюдается противосияние.

## 6. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Нами было использовано 20 каталогов [19–20] индивидуальных метеорных орбит, составленных по фотографическим, телевизионным и радиолокационным наблюдениям, проведенным в США, Канаде, Англии, Чехословакии, СССР и др. (в сумме 65 911 метеорных орбит). В каталоги вошли элементы орбит метеоров, которые охватывают обширные периоды наблюдений с 1936 г. (для фотографических наблюдений) по 1986 г.

При расчетах мы не использовали орбиты с эксцентриситетом  $e > 1$  и с афелийным расстоянием  $Q > 40$  а.е. Количество таких орбит в каталоге порядка 3% и вклад в распределение яркости таких частиц ничтожно мал из-за огромных расстояний, но при этом расчетное время на ЭВМ было сокращено на порядок.

Расчет проводился с шагом по времени  $\Delta T = 1$  сутки. В результате вычислений была получена трехмерная матрица значений  $(\lambda, \beta, I)$ , где  $\lambda$  и  $\beta$  — эклиптические координаты выделенного объема, а  $I$  — вычисленное значение интенсивности частиц, попавших в выделенный объем. Причем координаты  $\lambda$  и  $\beta$  находятся в пределах:

$$\begin{aligned} 0^\circ &\leq \lambda < 360^\circ \text{ с шагом } \Delta\lambda = 0.25^\circ \\ -90^\circ &\leq \beta < +90^\circ \text{ с шагом } \Delta\beta = 0.25^\circ \end{aligned}$$



Результат расчетов приведен в виде яркостной диаграммы (см. рис. 3).

На эклиптических широтах  $\beta$  близких к  $0^\circ$  среднее значение интенсивности имеет максимальную величину, а с увеличением широты (т.е. удалением от эклиптики) интенсивность падает. Это соответствует наблюдаемому факту уменьшения яркости зодиакальной полосы к югу и северу от эклиптики. При этом наблюдаются полосы параллельно эклиптике и клочковатость этих полос.

Из полученного трехмерного массива были отобраны значения  $I$ , принадлежащих полосе шириной в  $10^\circ$  по обе стороны от эклиптики, а по эклиптической долготе использовался весь диапазон  $0^\circ \leq \lambda < 360^\circ$ . Ширина полосы выбиралась из тех соображений, что смещение фотометрического центра противостояния наблюдаются до  $10^\circ$ . Если вычислить отношение  $I_S/I_N$  значений интенсивности для соответствующих симметричных южных и северных эклиптических широт, то это отношение будет характеризовать асимметрию распределения. На рис. 4 представлен результат таких вычислений. Видно, что существует асимметрия в распределении яркости для южной и северной части эклиптики. Причем для долгот, соответствующих весеннему периоду наблюдений противостояния, доминирует такое отношение  $I_S/I_N$ , когда интенсивность выше в северной области относительно эклиптики. И, наоборот, для долгот, соответствующих осеннему периоду наблюдений

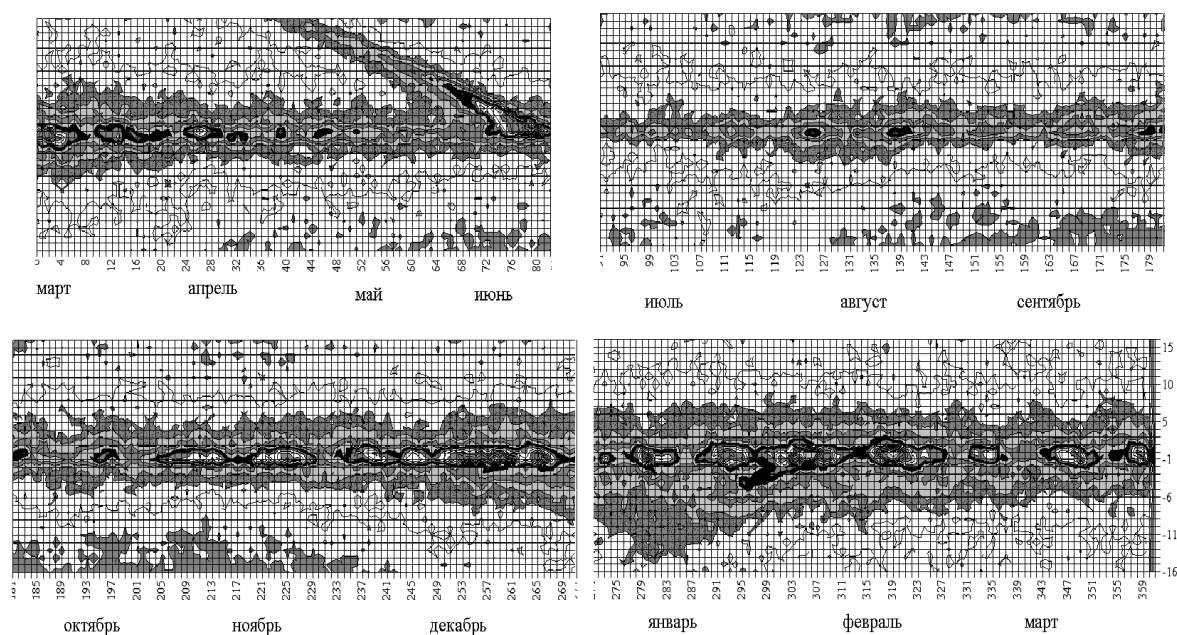


Рис. 3. Расчитанное по метеорным данным распределение яркости относительно эклиптики

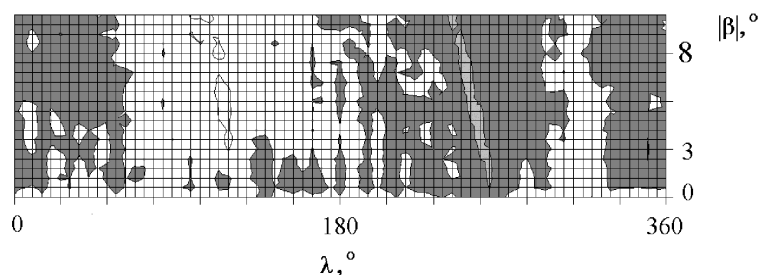


Рис. 4. Отношение  $I_S/I_N$  значений яркости для соответствующих симметричных южных и северных эклиптических широт

противосияния, доминирует такое отношение  $I_S/I_N$ , когда интенсивность выше в южной области относительно эклиптики. Данный результат согласуется с тенденцией в смещении фотометрического центра противосияния: весной — к северу от эклиптики, а осенью — к югу (сравните рис. 1 и рис. 4).

На рис. 4 наблюдаются «вкрапления» областей с противоположным значением, что может объяснить факт смещения фотометрического центра противосияния в противоположные области относительно эклиптики в моменты близких по дате наблюдений.

## 7. СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ С НАБЛЮДЕНИЯМИ

В [21] были предсказаны крупномасштабные межпланетные пылевые дуги, связанные с планетами. Дуга, если она существует, произвела бы асимметрию на противоположных сторонах противосияния в течение двух проходов Земли через дугу в каждом году. Позже такие дуги были обнаружены по измерениям инфракрасного излучения в длинах волн 12, 25, 60 и 190 мкм, проведенным на космическом аппарате IRAS (Infrared Astronomical Satellite). Так, Ф.Лоу [22] с соавторами нашли три инфракрасные полосы, одна из них расположена вдоль эклиптики, а две другие параллельно эклиптике приблизительно в  $10^\circ$  к югу и к северу от нее. М.Сайкс [23] обнаружил расщепление основной дуги, расположенной вдоль эклиптики, на две тесные полосы  $\alpha$  и  $\beta$ . Две полосы, расположенные по обе стороны от эклиптики, при эклиптических широтах от  $8.5^\circ$  до  $11.5^\circ$  и от  $-8.5^\circ$  до  $-11.5^\circ$  имеют ширину  $2^\circ - 3^\circ$ . Кроме этого, были обнаружены еще четыре пары полос шириной в несколько градусов, заполняющие область вдоль эклиптических широт от  $20^\circ$  до  $-20^\circ$ . В 1997 г. при наблюдениях в инфракрасном диапазоне со спутника DIRBE были обнаружены еще несколько более слабых пылевых полос.

В одной из статей [24] приводятся наблюдательные подтверждения наличия подобных полос в видимом диапазоне спектра. Наблюдения выполнены на обсерватории Мауна Кеа (Гавайи) 29 октября – 2 ноября 1997 г. Использовалась ПЗС-камера CV-16 с широкоугольным объективом. Были отмечены полосы на эклиптических широтах  $11.5^\circ \pm 10^\circ$ , а также слабые полосы  $\beta = \pm 10^\circ$  при элонгации от Солнца  $\varepsilon = 75^\circ$  и  $90^\circ$ . Яркость полос составляет 2%–3% от фона зодиакального света. Кроме того, наблюдения противосияния показали наличие полос  $\beta = +2^\circ, -4^\circ, -9^\circ$  при элонгациях  $165^\circ \leq \varepsilon \leq 185^\circ$ . Авторы приходят к выводу, что плоскость симметрии полос совпадают с плоскостью Лапласа.

## 8. ВЫВОДЫ

Суммируя результаты проведенных нами расчетов, можно сделать следующие выводы:

1. По материалам каталогов метеорных орбит найдено увеличение количества межпланетной пыли к эклиптике, что согласуется с теорией о существовании межпланетного пылевого облака, средняя плоскость которого близка к плоскости эклиптики.
2. Уменьшение яркости в выделенном направлении с увеличением эклиптической широты соответствует наблюдаемому факту уменьшения яркости зодиакальной полосы к югу и северу от эклиптики.
3. Существует асимметрия в распределении яркости для южной и северной части эклиптики. Причем для долгот соответствующих весеннему периоду наблюдений противосияния доминирует такое отношение  $I_S/I_N$ , когда интенсивность выше в северной области относительно эклиптики. И, наоборот, для долгот, соответствующих осеннему периоду наблюдений противосияния, доминирует такое отношение  $I_S/I_N$ , когда интенсивность выше в южной области относительно эклиптики. Данный результат согласуется с тенденцией в смещении фотометрического центра противосияния: весной — к северу от эклиптики, а осенью — к югу. Наличие «вкраплений» областей с противоположным значением может объяснить факт смещения фотометрического центра противосияния в противоположные области относительно эклиптики в моменты близких по дате наблюдений.



1. *Barnard E.E.* Observations of the zodiacal counter glow // *Astron. J.* — 1888. — **7**, iss. 168. — P. 186–187.
2. *Barnard E.E.* Observations of the zodiacal counter glow or gegenschein made at Mt. Hamilton during the years 1888, 1889, 1890, 1891 // *Astron. J.* — 1891. — **11**, iss. 243. — P. 19–20.
3. *Barnard E.E.* Observations of the Gegenschein or zodiacal counter glow // *Astron. J.* — 1893. — **13**, iss. 308 — P. 169–171.
4. *Barnard E.E.* The Gegenschein or zodiacal counter glow // *Astron. J.* — 1897. — **17**, iss. 403 — P. 151–152.
5. *Elvey C.T.* Photometry of the gegenschein // *Astroph. J.* — 1933. — **77** — P. 56.
6. *Hiroyoshi Tanabe* Photoelectric Observations of the Gegenschein // *Publ. of the Astron. Soc. of Japan.* — 1965. — **17**, № 4.
7. *Астапович И.С.* // *АЦ.* — 1950. — № 103–104, XI, 1.
8. *Бахарев А.М.* К вопросу о широте противосияния и световой полосы // *Бюллетень Сталинабадской АО.* — 1953. — № 6.
9. *Дивари Н.Б. и др.* Изофоты зодиакального света и его околоземная составляющая // *Астр. Вестн.* — 1968. — **2**, № 2.
10. *Winkler C., Schmidt-Kaler T., Schlosser W.* Die. Symmetrieebene des Zodiakallichtes und die Struktur des Gegenscheins // *Astron. and Astrophys.* — 1985. — **143**, № 1. — P. 194–200.
11. *H.Seeliger, S.-B.* // *Bayer. Akad. Wiss. — Math.-phys. Kl.* — 1902. — 31, 265.
12. *Schwend* // *Dissertation.* — Munchen, 1904.
13. *Siedentopf H.* // *Z. Astrophys.* — 1955. — 36, 240.
14. *Walter H.* // *Z. Astrophys.* — 1958. — 46, 9.
15. *Гундилис Л.М.* Противосияние как эффект рассеяния солнечного света на частицах межпланетной пыли // *Астрон. журн.* — 1962 — **39**, № 4. — С. 689–701.
16. *Заболотников В.С.* Моделирование распределения метеорного вещества в Солнечной системе // *Астрон. вестн.* — **20**, № 2. — P. 134–141.
17. *Дивари Н.Б.* Метеорная модель зодиакального облака // *Астрон. Журн.* — 1967. — **44**, № 6. — P. 1309–1315.
18. *Никольский Г.М.* Фотоэлектрические наблюдения зодиакального света близ Алма-Аты // *Геомагнетизм и аэронавигация.* — 1961. — **1**, № 3. — С. 354.
19. *Lindblad B.A.* The IAU Meteor Data Center in Lund // at Second GLOBMET Symp., Kazan, USSR, pre. June 30, 1988.
20. *Linblad B.A., Steel D.I.* The Meteoroid orbits available from the IAU Meteor Data Center // at Millani et al. Asteroids, Comets, Meteors. — 1993. — P. 497–501.
21. *Giovane F., Weinberg J.L., Mann H. M., Oliver J.P.* An observational search for the Schuerman dust arcs // Properties and interactions of interplanetary dust Proceedings of the Eighty-fifth Colloquium, Marseille. — France, Dordrecht, July 9–12, 1984. — D. Reidel Publishing Co., 1985. — P. 39–42.
22. *Low F.J., Young E., Beintema D.A., Gautier T.N., Beichman C.A., Aumann H.H., Gillett F.C., Neugebauer G., Boggess N., Emerson J.P.* Infrared cirrus — New components of the extended infrared emission // *Astr. Journ.*, Part 2. — Letters to the Editor (ISSN 0004-637X) — 1984. — **278**. — L19–L22.
23. *Sykes M.V., Greenberg R.* The formation and origin of the IRAS zodiacal dust bands as a consequence of single collisions between asteroids // *Icarus* (ISSN 0019-1035). — 1986. — **65**. — P. 51–69.
24. *Ishiguro M., Nakamura R., Fujii Y., Morishige K., Yano H., Yasuda H., Yokogawa S., Mukai T.* First Detection of Visible Zodiacal Dust Bands from Ground-based Observations // *Astron. J.* — **511**, Iss. 1. — P. 432–435.

Поступила в редакцию 9.09.2004